12-5 新たに開発したインライン式海底地震観測システム New compact ocean bottom cabled system for seismic observation

東京大学地震研究所 Earthquake Research Institute, University of Tokyo 篠原雅尚・金沢敏彦 Masanao Shinohara, Toshihiko Kanazawa

1. はじめに

海域におけるリアルタイム観測は重要であり、これまで海底ケーブルを用いた海底におけるリア ルタイム観測システムが構築されてきた.しかしながら、海底におけるリアルタイム観測点数は、 いまだに十分とは言えない状況である¹⁾.東京大学地震研究所は、陸域での観測網と同じように海 域でも多数の地震計を高密度に展開し(例えば 20km 間隔)、広域の震源域の微細な挙動をリアル タイム観測するという目的に適した、小型・低コスト(製造・建設コストと運用コスト)でシステ ム拡張性と高信頼性を有する新たなインライン式地震・津波観測ケーブルシステムの開発を行って きた^{2),3),4)}.この新たに開発したインライン式海底地震観測システムは、2010年新潟県粟島南方 海域に設置され、観測を行っている.本稿では、新規開発したインライン式海底地震観測システム について紹介すると共に、設置した観測システムから得られているデータについて、報告する.

2. ケーブル式海底地震観測システム

我々が新規に開発したケーブル式海底地震観測システムは、インターネット技術を用いた通信回 線の冗長化による観測の信頼性の向上,最新半導体技術を用いた計測部の小型化などが特徴である. データは, 光ファイバーを用いて伝送され, 1 本のケーブルに複数の地震計が直列に接続できる(イ ンライン式).システムは、2つの陸揚げ局と伝送路の2重のリング構成と最新の ICT 技術の利用 により、システムとして高い信頼性を実現している。1つの計測部に、地震観測用のセンサーと津 波観測用のセンサーを搭載する. 地震観測のセンサーには. 日本航空電子の小型サーボ型加速度3 台を用いて、直交3成分の観測を行う、加速度センサからの信号は 1kHz サンプリングで 24bitA/ D 変換された後、0.1ms 以上の精度のタイムスタンプが個々の計測データに付与されたのち、CPU でイーサネット伝送用にパケット化されスイッチに送られる。一方、津波観測用の水圧計からの信 号は陸上から伝送されてくる高精度クロック信号を基準にその周波数(水圧に対応)がカウントさ れた後、タイムスタンプが付与されて CPU. スイッチに送られる、高精度クロック信号は専用光ファ イーバー経由で陸上から各ノードに配信されるが、この信号にはタイムスタンプの時刻データや、 ノードの非常用制御信号も含まれる。ノード内の回路は、CPU 周辺回路やイーサネットスイッチ 回路などは FPGA を採用しており、小型化、低消費電力化、信頼性確保を図っている。また CPU には広く使用されて信頼性の実績がある製品を採用した。そのOSに Linux を採用することで、ノー ド内の各部の動作監視・制御だけでなく、信号処理ソフトや FPGA の修正もインターネット経由 で大学などから可能である.

本システムは,最大適用水深 6000 m,最大ケーブル長 900km で,40 地震・津波観測点を間隔 20 km で 2 次元的に配置できる(100km 四方の領域をカバーする)(第1図). 試作したノードは, 地震観測用であり,小型・軽量化(耐圧容器の外径 135mm 長さ 550mm)および低消費電力化(16W/ ノード)することができた.計測部本体は,従来に比べて,体積比で10分の1に小型化されており(第2図),海底ケーブルの埋設と同時に,容易にノード本体の海底下埋設が可能である。埋設により,観測されるデータの品質の向上が期待されると共に,浅海域において,漁業活動などとの干渉を避けることができるようになった.

3. システム設置とデータ

東北日本の日本海側及び日本海東縁部には「ひずみ集中帯」が形成されていて、これまで大きな 被害地震が発生している(第3図).近年では、1964年新潟地震(M7.5)、2004年新潟県中越地震 (M6.8) や2007年新潟県中越沖地震(M6.8)が発生した.東京大学地震研究所では、文部科学省 の委託研究として、ひずみ集中帯の一部と考えられている日本海新潟沖の海域において、地震活動 の高精度把握を実施している.この委託研究の一環として、新潟県岩船郡粟島浦村(粟島)の南方 海域に、我々が開発したケーブル式海底地震観測システムを設置し、自然地震の観測を開始した. 設置海域は、高密度地震観測網がある本州に近い領域であるが、対象域の高精度地震活動の把握に は、直上での観測が必要である.また、設置海域は、1964年新潟地震の震源域直上であり、新潟 地震の性質の解明をはかることも目的の一つである.

今回設置したシステムは、地震計測部4台が、一本のケーブルで接続されており、ケーブルの一端を新潟県粟島に陸揚げした.地震計、通信部、および電源は、直径が約15cm、長さ約50cmの円筒形のカプセルに収納されており、海底ケーブルの全長は25kmである.地震計測部は約5km間隔に接続されている.今回の対象域が比較的狭く、震源の深さが浅いことが想定されるために、短い観測点間隔とした.水深が20mより深い部分では、地震計測部、ケーブル共に、海底から約1mの深さに埋設した.システムは、粟島の南方海域に設置され.地震計をなるべく2次元的に配置するために、ケーブルは全体としてS字型に設置された(第4図).

設置は、通信用海底ケーブル設置に用いられている海底ケーブル敷設船を利用して、2010年8 月23日から28日にかけて行われた。ケーブル敷設船は、まず、設置ルート上の障害物を除去する ために、ケーブルルートの掃海を行い(23日)、その後、粟島浦村釜谷漁港付近に、海底ケーブル の一端を陸揚げした(24日). その後、粟島から沖に向かって、ケーブルを敷設した. この敷設時に、 埋設機を用いて、ケーブルと地震計測部を海底下に埋設した. 8月27日と28日に、ケーブル埋設 機では埋設しなかった陸揚げ地点付近と沖側のケーブル先端部分を海中ロボットにより後埋設し、 設置は完了した. 設置完了直後の2010年8月28日から、粟島の陸上局において、データ収録を開 始し、2011年7月現在連続してデータ収録を行っている. 粟島の陸上局と地震研究所間は VPN 回 線により常時接続されており、当初は FTP を用いた準リアルタイムのデータ伝送を行っていたが、 2011年4月から IPパケットに用いた地震研究所へのリアルタイム伝送を行っている. 埋設した効 果もあり、良好なデータが蓄積されている. 例として、2011年1月3日に粟島近海で発生した地 震の波形を第5回に示す. 陸上で観測されたデータにケーブル式海底地震観測システムのデータを 加えて、震源再決定を行ったところ、陸上データのみで震源決定した場合により、数 km 震源が浅 く決定された.

5. まとめ

・ 海底における高密度地震観測のために、小型なケーブル式海底地震観測システムを新規開発した。

・システムは、汎用半導体の使用により、低コスト化をはかり、ICT による冗長性により信頼性

を確保している.また、小型化により、全システムを設置時に埋設可能である.

- ・ 平成 22 年 8 月に 1964 年新潟地震の震源域へ全長 25km, 4 台の地震観測点を持つシステムの設 置を実施し,観測を開始した.
- ・ノイズが多いと思われる浅海域(水深約100m)でも,明瞭な記録が得られた. 埋設が好結果を もたらしていると考えられる.

参考文献

- 1)金沢敏彦・篠原雅尚・塩原肇,海底地震観測の最近の進展 海底地震観測システムと海底に おける自然地震観測の進展について-,地震2,61,S55-S68,2009.
- 2) Kanazawa, T., M. Shinohara, S. Sakai, O. Sano, H. Utada, H. Shiobara, Y. Morita, T. Yamada, K. Mochizuki, and K. Yamazaki, New compact ocean bottom cabled system for seismic observation in the Japan Sea, OCEANS 2010 - MTS/IEEE Seattle, 1-6, 2010.
- 3) Kanazawa, T., M. Shinohara, S. Sakai, O. Sano, H. Utada, H. Shiobara, Y. Morita, T. Yamada, and K. Yamazaki, New compact ocean bottom cabled system for seismic and tsunami observation, SubOptic 2010, 1-5, 2010.
- 4) Kanazawa, T., and M. Shinohara, A new, compact ocean bottom cabled seismometer system -Development of compact cabled seismometers for seafloor observation and a description of first installation plan, Sea Technology, 37-40, July, 2009.



第1図 新たに開発したインライン式海底地震観測システムのコンセプト Fig. 1 Concept of the new ocean bottom cabled observation system



第2図 今回開発した観測ノード(下)と従来の海底ケーブル式海底地震計観測ノード(上)との比較 Fig.2 Photograph of developed cabled seismometer (CS) unit with previous CS



- 第3図
- 歪み集中帯における震央分布と、インライン式海底地震観測システムの設置域(赤四角). 矢 印は, 歪みの方向を示し, 灰色の領域が歪み集中帯である. 星は, この地域での大地震を示す. 赤枠は, 今回の設置域を示す. Epicenter distribution in the Niigata-Kobe Tectonic Zone (NKTZ). Arrows indicate direction and amount of strain. Grey shadow region shows the NKTZ. Stars and circles denote historical large earthquakes and small earthquakes by the JMA, respectively. The study area is indicated by a red box. Fig.3



第4図 設置したケーブル式海底地震観測システムのルート図。ケーブル全長は 25km で、地震計の間 隔は約 5km である。 Fig.4 Deployed route of the new developed ocean bottom cabled seismometer system in Awashima region. Total length is 25 km, and an interval of seismometers is about 5km.



第5図 設置したケーブル式海底地震観測システムにより観測された地震の波形例(2011年1月3日13時45分発生、マグニチュード4.7)と、そのデータを用いた震源再決定結果、赤い星がケーブル式海底地震観測システムのデータを含んだ結果、青い星は陸上観測網のみで決定した震源位置。

Fig.5 Examples of observed seismic waves by the deployed ocean bottom cabled seismometer system and result of relocation using the ocean bottom cabled seismometer data. Red and blue starts indicate hypocenter relocated using the ocean bottom cabled seismometer data and determined by land data only, respectively.